

М. А. Филиппов¹, Г. А. Ягудин¹, В. В. Легчило¹, С. Х. Эстемирова²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
г. Екатеринбург

²Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАКАЛКОЙ

В работе приведены результаты сравнительного изучения взаимосвязи структуры, формирующейся в процессе термической обработки, с абразивной износостойкостью сталей двух структурных классов – высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л и сталей перлитного класса 70Х2ГСМЛ и 150ХНМЛ.

Ключевые слова: ударно-абразивное изнашивание; износостойкость; термообработка; микротвёрдость; остаточный аустенит; карбиды.

M. A. Filippov, G. A. Yagudin, V. V. Legchilo, S. K. Estemirova

IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF PEARLITIC CLASS STEELS BY HIGH TEMPERATURE QUENCHING

The paper presents the results of a comparative study of the relationship between the structure formed in the heat treatment process and the abrasive wear resistance of steels of two structural classes-high-manganese austenitic steel 110Г13Л and pearlite grade 70Х2ГСМЛ and 150ХНМЛ steels.

Keywords: impact-abrasive wear, wear resistance, heat treatment, micro hardness, residual austenite, carbides.

Введение

В ряде случаев сталь 110Г13Л, имеющую ряд недостатков, можно заменить выкооклеродистыми перлитными сталями с 0,7–0,8 % С, износостойкость которых составляет—70 % от уровня, обеспечиваемого образцами из стали 110Г13Л [1]. Дополнительные резервы повышения износостойкости перлитных сталей заключаются в закалке от высоких температур, вследствие получения структуры метастабильного остаточного аустенита, превращающегося в процессе абразивного изнашивания в мартенсит деформации на рабочей поверхности, повышая способность стали к фрикционному упрочнению [2].

Материалы и методика исследований

В качестве материала для исследования использовали ударные образцы двух сталей перлитного класса с разным содержанием углерода – 70Х2ГСМЛ и 150ХНМЛ. Образцы стали 70Х2ГСМЛ изучали после

нормализации с нагревом при 850 °С и отпуска в интервале температур 450–600 °С, 2 часа, а также после закалки от 900 и 1150 °С в масло, а стали 150ХНМЛ – после закалки в масло от 900 и 1150 °С. Испытания абразивной износостойкости образцов производили близкой к методике, описанной в работах [2, 3]. Образцы с площадью рабочей части 10 × 10 мм совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумаге 14А32МН481 (ГОСТ 6456–82) на корундовой основе со скоростью 125 мм/с и смещением образца за один двойной ход 1,2 мм. Нагрузка на образцы, установленные в суппорте станка, составляла 10 кг (удельная нагрузка 1 МПа).

Результаты исследований

Из рис. 1 следует, что твёрдость стали 70Х2ГСМЛ по мере повышения температуры отпуска от 450 до 600 °С прогрессивно уменьшается от 42 до 32 HRC, соответственно снижается абразивная износостойкость – потери массы растут от 0,32 до 0,48 г, т. е. абразивная износостойкость стали составляет от 0,83 до 0,52, соответственно по отношению к стали 110Г13Л, износостойкость которой принята за единицу.

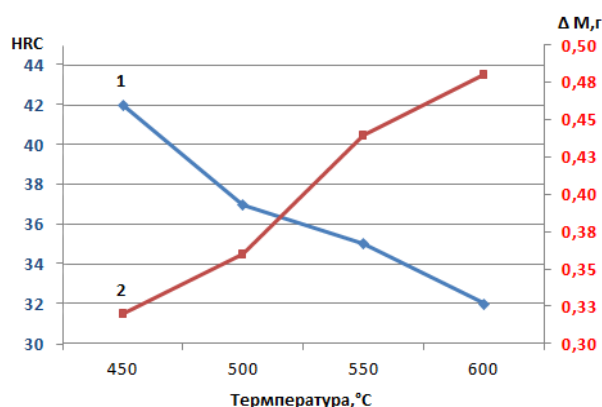


Рис. 1. Зависимость изменения твердости (HRC, 1), потери массы (ΔM, г, 2) от температуры отпуска с выдержкой 2 часа после нормализации стали 70Х2ГСМЛ от 850 °С

Как следует из работ [4], износостойкость сталей определяется уровнем эффективной прочности поверхностного слоя, который достигается у данных материалов на рабочей поверхности в процессе абразивного изнашивания. Он зависит от исходной твёрдости материалов и прироста твёрдости их активных слоев за счет наклёпа, происходящего в зоне фрикционного контакта. Несмотря на то, что аустенит стали 110Г13Л с низкой исходной твёрдостью не претерпевает мартенситного превращения при изнашивании, он обладает относительно высокой способностью к фрикционному упрочнению вследствие низкой энергии дефектов упаковки углеродистого марганцевого аустенита, и на рабочей

поверхности формируется вторичная структура с достаточно высокой микротвёрдостью – 5, 84 ГПа, в то время как у образцов стали 70Х2ГСМЛ – 4,25–4,97 ГПа.

Таким образом, аустенитная сталь 110Г13Л превосходит сталь перлитного класса 70Х2ГСМЛ по износостойкости при абразивном изнашивании примерно в 1,2–1,5 раза в зависимости от температуры отпуска после нормализации, несмотря на более низкую исходную твёрдость, вследствие более высокой способности к фрикционному упрочнению рабочей поверхности в процессе микрорезания и царапания при изнашивании. Микроструктура образца стали 70Х2ГСМЛ по морфологии и средней микротвёрдости 394 МПа после нормализации и отпуска при 550 °С представляет собой сорбит отпуска с дисперсными выделениями карбидов глобулярной формы и локальными скоплениями более крупных карбидов, а именно светлых кристаллов на рис. 2, по-видимому, в местах ликвационного обогащения углеродом и карбидообразующими элементами.

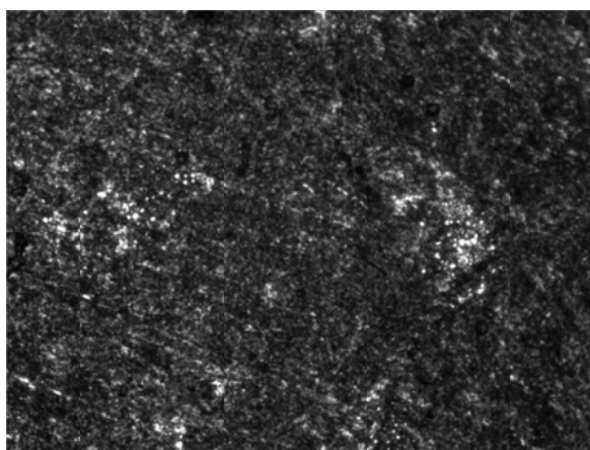


Рис. 2. Микроструктура стали 70Х2ГСМЛ после нормализации от 850 °С и отпуска при 550 °С, 2 часа, х 400

Сталь 70Х2ГСМЛ после такой термообработки имеет невысокую ударную вязкость, не превышающую $KCU = 30 \text{ Дж/см}^2$, но достаточную для эксплуатации в условиях абразивного изнашивания при действии умеренных ударных нагрузок [1].

Значительный интерес для повышения абразивной износостойкости сталей перлитного класса представляет изучение возможности высокотемпературной закалки с формированием в качестве структурной составляющей метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит на рабочей поверхности при фрикционном воздействии. Так, на примере сталей перлитного и ледебуритного классов 150ХНМЛ и Х12МЛ показано, что в результате закалки от нормальной температуры (850 °С) микроструктура мелкоигольчатого мартенсита с избыточными карбидами

обеспечивает высокую твердость (61 HRC), однако максимальная износостойкость при абразивном изнашивании достигается после высокотемпературной закалки стали ($1100 \div 1175$ °C), формирующей мартенситно-карбидную структуру с метастабильным аустенитом в количестве 15–25 % и высокой способностью к фрикционному упрочнению [4]. С этой целью образцы стали 70X2ГСМЛ закалены в масле после нагрева при температурах 900 и 1150 °C. Твердость после таких режимов закалки составила 60 и 57 HRC, соответственно, т. е. после высокотемпературной закалки твердость ниже на 3 единицы, чем после закалки от нормальной температуры (табл. 1), а стали 150ХНМЛ – на 15 единиц ниже.

Таблица

Результаты испытаний образцов исследуемых сталей на абразивное изнашивание (ϵ – относительная износостойкость сталей)

Марка стали и режим обработки	ϵ	HRC	$H_{50\text{изн.}, \text{ГПа}}$
Сталь 110Г13Л, закалка от 1050 °C	1,0	20	5,84
Сталь 70X2ГСМЛ, закалка от 900 °C в масле, отпуск при 200 °C, 2 ч	1,19	60	9,3
Сталь 70X2ГСМЛ, закалка от 1150 °C в масле, отпуск при 200 °C, 2 ч	1,43	57	10,1
Сталь 150ХНМЛ, закалка от 900 °C в масле, отпуск при 200 °C, 2 ч	1,55	60	10,5
Сталь 150ХНМЛ, закалка от 1150 °C в масле, отпуск при 200 °C, 2 ч	3,2	45	12,0

Результаты анализа показали, что фазовый состав образцов сталей 70X2СМЛ и 150ХНМЛ после закалки от 900 °C представляет собой мартенсит и небольшое количество остаточного аустенита (менее 5 %). Присутствия карбидов на дифрактограммах не фиксируется. Фазовый состав после изнашивания состоит только из мартенсита со следами присутствия остаточного аустенита. При высокотемпературной закалке образцов стали 70X2СМЛ и особенно 150ХНМЛ формируется структура, отличающаяся по фазовому составу от такового после закалки от температуры 900 °C – наряду с мартенситом появляется остаточный аустенит в количестве 20 % в первой и 50 % – второй стали, (рис. 3, а). Остаточный аустенит метастабилен и в процессе изнашивания в поверхностном слое большая его часть превращается в мартенсит деформации, в рабочем слое образцов после износа фиксируется около 5 % аустенита (рис. 3, б). Повышенное содержание остаточного аустенита после закалки от высокой температуры – 1150 °C – возникает, по-видимому, вследствие растворения избыточных дисперсных частиц легированных хромом карбидов.

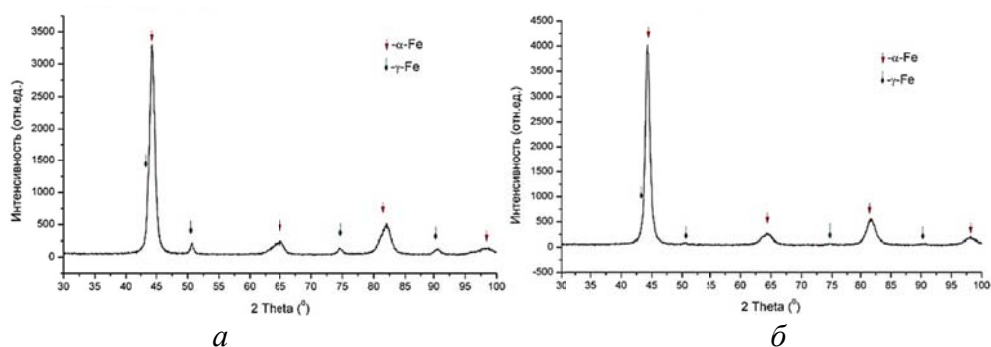


Рис. 3. Дифрактограммы образца стали 70X2СМЛ: *а* – после закалки от 1150 °С; *б* – после изнашивания

Закключение

Сталь перлитного класса 70X2ГСМЛ, после нормализации от 850 °С и отпуска при 550 °С можно использовать для отливки бронефутировки плит шаровых и стержневых мельниц, подвергающихся механообработке и работающих в условиях абразивного воздействия без значительных ударных нагрузок. Износостойкость образцов из этой стали со структурой сорбита отпуска достигает при испытании по закреплённому абразиву 55–60 % от уровня, обеспечиваемого образцами, изготовленными из стали 110Г13Л, но менее экономичность, технологичность в изготовлении и вопросы экологии могут решить вопрос в пользу применения перлитных сталей. Дополнительным резервом повышения абразивной износостойкости сталей перлитного класса – 70X2ГСМЛ и 150ХНМЛ – служит высокотемпературная закалка с образованием в структуре метастабильного аустенита. Максимум износостойкости достигается после закалки стали на 1150 °С в масле, формирующей мартенситную структуру с метастабильным аустенитом (20–50 %), превращающимся в мартенсит на рабочей поверхности при изнашивании с высокой способностью к фрикционному упрочнению. Абразивная износостойкость стали 70X2ГСМЛ с такой микроструктурой на 40 %, а стали 150ХНМЛ – в 3 раза превышает абразивную износостойкость стали 110Г13Л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов М. А. Износостойкие стали для отливок: учебник / М. А. Филиппов, А. А. Филиппенков, Г. Н. Плотников. Москва : Metallurgy, 2009. 358 с.
2. Бернштейн М. Л. Металловедение и термическая обработка стали: учебник / М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. Москва : Metallurgy. 1983. 368 с.
3. Хрущев М. М. Абразивное изнашивание: учебник / М. М. Хрущёв, М. А. Бабичев. Москва : Наука, 1970. 252 с.
4. Формирование структуры износостойких сталей 150ХНМЛ и Х12МФЛ при закалке / М. А. Филиппов [и др.] // МиТОМ. 2015. № 11. С. 5–9.